

## Flexible leading edge profile for aerofoil

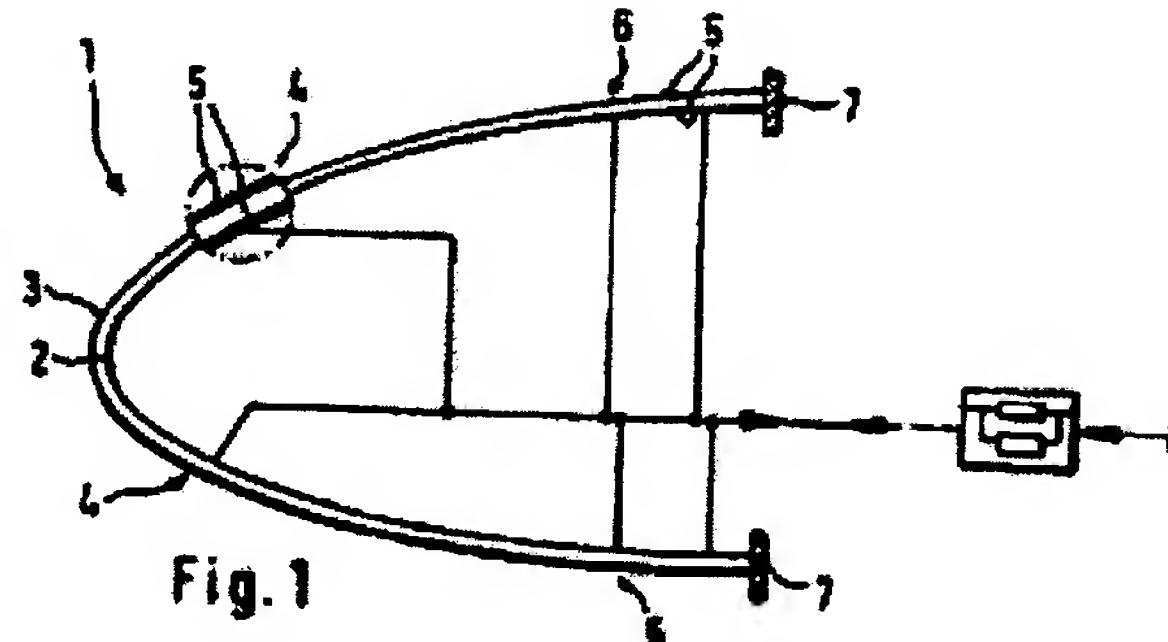
Patent number: DE19712034  
Publication date: 1998-09-24  
Inventor: BREITBACH ELMAR J PROF DR ING (DE); BEIN THILO (DE)  
Applicant: DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT (DE)  
Classification:  
- international: B64C27/00; B64C27/467; B64C27/615; B64C27/00;  
B64C27/32; (IPC1-7): B64C27/473  
- european: B64C27/00B; B64C27/467; B64C27/615  
Application number: DE19971012034 19970321  
Priority number(s): DE19971012034 19970321

Also published as:  
 US6076776 (A1)  
 GB2327927 (A)  
 FR2761047 (A1)

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19712034

The flexible leading edge (1) comprises a multifunctional material on its outside (3) or inside (2) of the skin, or in its structure (11). A coating (5) of multifunctional material is distributed partially on the profile edge. The multifunctional material is preferably an active layer (10), e.g. of piezoelectric, magnetoresistive material. This material is integrated into the structure of the flexible leading edge.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

zu P 611 078



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 197 12 034 A 1**

(51) Int. Cl. 6:  
**B 64 C 27/473**

D1

(21) Aktenzeichen: 197 12 034.2  
(22) Anmeldetag: 21. 3. 97  
(43) Offenlegungstag: 24. 9. 98

(71) Anmelder:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
53175 Bonn, DE

(74) Vertreter:

Einsel, M., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 38102  
Braunschweig

(72) Erfinder:

Breitbach, Elmar J., Prof. Dr.-Ing., 37075 Göttingen,  
DE; Bein, Thilo, 38108 Braunschweig, DE

(56) Entgegenhaltungen:

DE 40 33 091 C1  
US 49 22 096

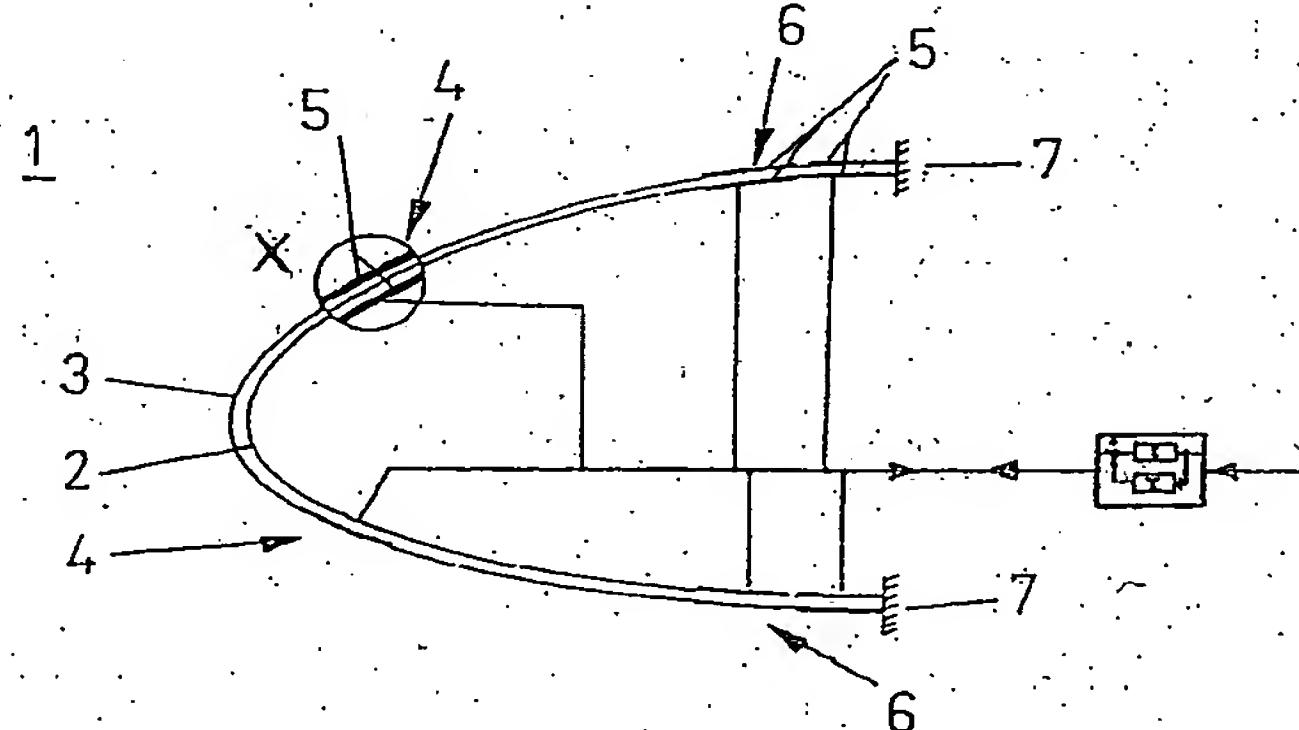
DE-Z.: Soldat und Technik, H. 2/97, S. 102;  
DE-Z.: WT 1/97, S. 26-27;  
DE-Z.: Industrieanzeiger, H. 48-49/95, S. 38-40;  
DE-Z.: Industrieanzeiger, H. 25/95, S. 26-29;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Profilkante eines aerodynamischen Profils

(57) Bei einer Profilkante eines aerodynamischen Profils weist die Profilkante (1, 20) auf ihrer Außen (3, 23) - und/ oder Innenseite (2, 22) oder in ihrer Struktur (11) multifunktionales Material auf.



**DE 197 12 034 A 1**

**DE 197 12 034 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Profilkante eines aerodynamischen Profils.

Aerodynamische Profile sind beispielsweise Hubschrauber-Rotorblätter. Die Hubschrauber-Rotorblätter erfahren im Vorwärtsflug grundsätzlich instationäre Strömungsverhältnisse. Im Schnellflug können diese sehr komplex sein. Am vorlaufenden Rotorblatt entstehen dabei ausgeprägte Verdichtungsstöße. Am rücklaufenden Rotorblatt treten demgegenüber instationäre Wirbelablösungen bei Hocchauftrieb auf. Das letztere Phänomen wird mit dem Begriff "Dynamic Stall" bezeichnet.

Bei einem Hubschrauber-Rotorblatt verändert sich beispielsweise der Anstellwinkel des Profils dynamisch mit der Rotordrehfrequenz. Dies bedeutet, daß für jeden Azimuthwinkel des Rotorblattes bezüglich der Hubschrauberlängsachse ein anderer Anstellwinkel gilt. Im allgemeinen ergeben sich beim dynamischen Ansteigen des Anstellwinkels andere aerodynamische Beiwerte als im Bereich der dynamischen Anstellwinkel-Verminderung. Dies führt zu einer aerodynamischen Hysterese. Aufgrund der beschleunigten Profilbewegung des Hubschrauber-Rotorblattprofiles ergibt sich gegenüber dem statischen Fall ein Auftriebsgewinn, der sich nutzbringend verwerten läßt. Im Bereich hoher Anstellwinkel bricht der Auftrieb jedoch sehr stark und schnell ein, wodurch ein starker Anstieg von Widerstand und Moment um die Drehachse erzeugt wird. Das Moment ist kopflastig und belastet das Rotorblatt impulsartig. Es kann dieses zu Schwingungen anregen.

Es ist bekannt, mit Hilfe der sogenannten "Droop Nose" den Anstieg des Widerstandes sowie das stark kopflastig wirkende Moment zu reduzieren. Die "Droop Nose" ist eine in der Form veränderbare Vorderkante der Rotorblätter. Ziel dieser veränderbaren Vorderkante ist eine gezielte, zyklische, mit der Rotordrehung laufende Zu- oder Aufwölbung des Profiles des Rotorblattes zur Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften von diesem. Vor allem die Auswirkungen der instationären Ablösung der Strömung (Dynamic Stall) können mit der "Droop Nose" positiv beeinflußt werden.

Der Zusammenbruch des Auftriebes und der damit verbundene Effekt von beispielsweise Drag Rise (Widerstandsanstieg infolge transsonischer Strömung im Blattspitzenbereich – vorlaufendes Blatt,  $\text{psi} \approx 90^\circ$ ), Flattern etc. können dadurch zu höheren Anstellwinkeln verschoben werden.

Bekannt sind im Flugzeugbereich Aktuatoren zum Verstellen von Teilen der Tragflügel. Solche Aktuatoren sind beispielsweise Elektromotoren, pneumatische oder hydraulische Antriebe.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine strukturmechanische Umsetzung der Wirkungen der "Droop Nose" bei einer Profilkante eines aerodynamischen Profils zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 definierte Erfindung gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen definiert. Dadurch kann eine den aeroelastischen Anforderungen entsprechende Verformung der Profilkante des aerodynamischen Profils erzeugt werden. Herkömmliche Aktuatoren, beispielsweise Elektromotoren oder pneumatische oder hydraulische Antriebe, sind von ihren Abmaßen her zu groß und zu schwer, um in eine Profilkante beispielsweise eines Hubschrauber-Rotorblattes integriert werden zu können. Das erfundungsgemäße Vorsehen von multifunktionalen Materialien erweist sich demgegenüber nicht nur von seinen Abmaßen und seinem Gewicht her als vorteilhaft, sondern auch aufgrund seiner Verwendbarkeit für hochdynamische Anwendungen. Die Leistungsdaten der

herkömmlichen bekannten Aktuatoren, wie Elektromotoren, pneumatische oder hydraulische Antriebe, erweisen sich oftmals als zu gering und daher ungeeignet für die Verwendung zur strukturdynamischen Umsetzung der sogenannten "Droop Nose" an Rotorblättern.

Im Prinzip wird eine Profilkante eines aerodynamischen Profils geschaffen, bei der die Profilkante auf ihrer Außen- und/oder Innenseite oder in ihrer Struktur multifunktionales Material aufweist. Vorzugsweise ist eine Beschichtung aus multifunktionalem Material partiell verteilt an der Profilkante vorgesehen. Die Profilkante ist dabei vorteilhaft eine Vorderkante beispielsweise eines Rotorblattes. Das multifunktionale Material kann aber auch alternativ eine scheraktive Schicht sein, die in die Struktur des aerodynamischen Profils integriert ist. Durch das multifunktionale Material können Biegemomente und/oder Längs- oder Schubkräfte in die die Profilkante bildende Struktur eingeleitet werden. Dadurch kann eine Verformung der Struktur erzeugt werden. Eine Ansteuerung des multifunktionalen Materials kann gezielt und über den Umfang des aerodynamischen Profils veränderlich erfolgen. Diese Ansteuerung kann entweder gleich- oder gegenphasig erfolgen. Vorzugsweise sind auch Sensoren aus multifunktionalem Material und adaptive Regler vorgesehen. Dadurch kann die Ist-Verformung der Profilkante durch die Sensoren erfaßt und in dem adaptiven Regler mit vorgegebenen Sollwerten verglichen werden. Eine Regelabweichung des Istwertes von dem Sollwert kann von dem adaptiven Regler durch entsprechendes Ansprechen des multifunktionalen Materials als Aktuator eingeregelt werden. Besonders bevorzugt dient das als Aktuator vorgesehene multifunktionale Material zugleich als Sensor für die Profilkantenverformung.

Besonders bevorzugt wird die Profilkante mit einer über den Umfang veränderlichen Wandstärke ausgebildet. Diese über den Umfang veränderliche Steifigkeit der Struktur des aerodynamischen Profils gestattet dann eine zusätzliche passive Beeinflussung der sich einstellenden Profilkantenverformung.

Als multifunktionales Material wird bevorzugt ein für hochfrequente Anwendungen geeigneter Werkstoff verwendet. Besonders bevorzugt wird hierzu eine Piezokeramik, ein elektro- oder ein magnetostriktiver Werkstoff verwendet. Die Profilkante besteht vorzugsweise aus Faserverbundwerkstoff, insbesonders aus kohlenstofffaserverstärktem Verbundwerkstoff (CFK) oder graphitfaserverstärktem Verbundwerkstoff (GFK). Sie kann aber auch aus Metall bestehen. Die aus multifunktionalem Material bestehenden aktiven Schichten sind vorzugsweise auf die Profilkante aufgeklebt oder mittels Plasmaverfahren aufgebracht. Sie können aber auch durch alternative Verfahren aufgebracht oder bevorzugt in die äußersten Schichten eingeschlossen werden. Im letzteren Fall kann über die eingeschlossene Schicht eine dünne Glasfaserschicht als Schutzschicht, beispielsweise in einer Schichtdicke von  $10 \mu\text{m}$ , aufgebracht werden. Wird das multifunktionale Material als scheraktive Schicht vorgesehen, wird es in die Struktur der Profilkante des aerodynamischen Profiles vorzugsweise eingebettet oder eingeschlossen.

Die Profilkante kann entweder eine Vorder- oder eine Hinterkante sein. Sie ist beispielsweise Teil eines Hubschrauber-Rotorblattes, eines Windenergieanlageflügels, einer Turbinen- oder Verdichterschaufel oder einer Tragfläche eines Flugzeugs.

Wird die Profilkante als elastische Hinterkante eines aerodynamischen Profiles vorgesehen, ist vorzugsweise eine spitz zulaufende Hinterkante vorgesehen. Es kann damit vorzugsweise eine variable Wölbung von aerodynamischen Profilen erzeugt werden.

Zur näheren Erläuterung der Erfindung werden im folgenden Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Profilkante anhand der Zeichnungen beschrieben. Diese zeigen in:

**Fig. 1** eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Profilkante als Vorderkante,

**Fig. 2** eine Prinzipskizze der Vorderkante gemäß Fig. 1 im angesteuerten Zustand,

**Fig. 3** eine Prinzipskizze einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Profilkante als Vorderkante, und

**Fig. 4** eine Prinzipskizze einer Seitenansicht einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Profilkante als elastische Hinterkante.

In Fig. 1 ist eine Prinzipskizze einer Seitenansicht eines aerodynamischen Profiles dargestellt. Das aerodynamische Profil weist eine Vorderkante 1 auf. Die Vorderkante 1 des im wesentlichen parabelförmigen Profiles ist der Bereich maximaler Krümmung. Oberhalb und unterhalb dieser maximalen Krümmung sind auf der Innenseite 2 und auf der Außenseite 3 der Profilkante Bereiche 4 mit Schichten 5 aus multifunktionalem Material versehen. Das multifunktionale Material ist in diesen Bereichen, also partiell verteilt, als Beschichtung auf der Innenseite 2 und der Außenseite 3 der Vorderkante 1 aufgetragen.

Die Schicht aus multifunktionalem Material 5 dient als aktive Schicht. Dies bedeutet, daß durch Ansteuern der aktiven Schichten auf der Innenseite 2 und der Außenseite 3 der Vorderkante 1 des Profiles Biegemomente und/oder Längs- oder Schubkräfte in die Struktur der Vorderkante 1 eingeleitet werden können. Durch ein derartiges Ansteuern der aktiven Schichten 5 wird die Vorderkante 1 des Profiles verformt.

Um ein gleichmäßiges Verformen der Vorderkante zu ermöglichen, sind auch im Bereich 6 der Auflagerpunkte 7, also der festgelegten Stellen des Profiles, auf der Innenseite 2 und der Außenseite 3 der Vorderkante 1 Schichten 5 aus multifunktionalem Material aufgetragen. Die Bereiche 6 sind besonders bevorzugte Bereiche zum Aufbringen des multifunktionalen Materials.

Für das multifunktionale Material eignet sich besonders eine Piezokeramik oder elektro- und magnetostriktive Werkstoffe. Jedenfalls sollte ein Werkstoff verwendet werden, der für hochfrequente Anwendungen geeignet ist. Die Vorderkante 1 besteht vorzugsweise aus Faserverbündwerkstoff oder Metall. Die Schichten 5 aus multifunktionalem Material auf der Innenseite 2 und der Außenseite 3 der Vorderkante 1 sind vorzugsweise auflaminiert, geklebt, in die äußeren Schichten einlaminiert oder mittels Plasmaverfahren aufgebracht.

Die Ansteuerung durch Piezokeramik, die eine aus piezoelektrischem Material hergestellte Keramik ist und die bezüglich ihrer Eigenschaften infolge ihrer polykristallinen Struktur weitgehend isotrop ist, beruht auf dem Phänomen, daß durch Verformungen, wie Druck- oder Zugbeanspruchung sich einige Kristalle polarisieren lassen. Auf entgegengesetzten Oberflächen entstehen dann Flächenladungen unterschiedlichen Vorzeichens. Die elektrostatische Aufladung, die beim Zusammendrücken von Kristallen in Richtung der polaren Achsen auftritt, ist der Größe der einwirkenden Kraft proportional und Ausdruck einer Polarisation des Kristalls unter Druckeinwirkung (oder Zugeinwirkung), also der Verschiebung positiver gegenüber negativer Ionen relativ zueinander entlang der polaren Achse. Die Ladung einander gegenüberliegender Kristallflächen haben dadurch entgegengesetzte Vorzeichen. Demgegenüber kann man umgekehrt auch bei derartigen piezoelektrisch erregbaren Kristallen durch Anlegen eines elektrischen Feldes in Abhängigkeit von dessen Polarität oder Richtung Kompression und Dilatation, also auch eine Längenänderung herbeiführen.

ren. Dieser Effekt wird als invers piezoelektrisch bezeichnet. Durch das Anlegen des elektrischen Feldes und die daraus folgende Längenänderung der Schichten 5 aus multifunktionalem Material wird die Vorderkante 1 verformt.

Derartige Verformungen der Struktur der Vorderkante 1 des Profiles sind in Fig. 2 durch die Bezugszeichen A und B charakterisiert. Um aus der Ausgangsposition gemäß Fig. 1, die in Fig. 2 als mittlere Position dargestellt ist, in die Position A zu gelangen, werden die auf der Unterseite 8 der Vorderkante 1 befindlichen Schichten 5 aus multifunktionalem Material verlängert. Die Vorderkante 1 wird dadurch derart verformt, daß sie sich nach oben in die Position A bewegt.

Wenn umgekehrt die auf der Oberseite 9 angeordneten Schichten 5 aus multifunktionalem Material verlängert werden, nimmt die Vorderkante 1 des Profiles die Position B ein. Die beiden Bewegungsrichtungen aus der Ausgangsposition heraus sind durch den Doppelpfeil in Fig. 2 angedeutet.

Die auf der Oberseite 9 und der Unterseite 8 der Vorderkante 1 angeordneten Schichten 5 aus multifunktionalem Material dienen also als Aktuatoren. Vorzugsweise werden nicht nur die auf der Unterseite oder auf der Oberseite befindlichen Aktuatoren angesprochen, sondern zugleich sowohl die auf der Oberseite als auch die auf der Unterseite befindlichen Aktuatoren. Die Ansteuerung kann dann entweder gleichphasig oder aber gegenphasig erfolgen. Für nur kleine zu erzeugende Anstellwinkel, also Verformungen der Vorderkante 1 gegenüber der Ausgangsstellung, wird vorteilhaft eine gleichphasige Ansteuerung verwendet. Zum Erzeugen größerer Anstellwinkel wird vorteilhaft eine gegenphasige Ansteuerung vorgenommen.

Da nicht nur lediglich eine Ansteuerung in Form einer gezielten Steuerung der Aktuatoren stattfindet, sondern eine adaptive Regelung dieser Verformungen, also ein gezieltes Erzeugen entsprechender Anstellwinkel des Profiles, vorgesehen werden soll, ist eine Rückkopplung der Istwerte im adaptiven Regler vorgesehen. Zum Erfassen der Istwerte werden an der Vorderkante 1 Sensoren angeordnet. Vorzugsweise werden die Aktuatoren gleichzeitig als Sensoren verwendet. Der Aufwand an Material wird dadurch so gering wie möglich gehalten.

Besonders bevorzugt ist die Vorderkante mit einer über ihren Umfang veränderlichen Wandstärke ausgebildet. Die Steifigkeit der Struktur des Profiles wird dadurch beeinflußt. Es folgt daraus eine passive Beeinflussung der Verformung der Vorderkante des Profils.

Fig. 3 zeigt eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorderkante 1. Das multifunktionale Material ist als scheraktive Schicht 10 in die Struktur 11 der Vorderkante 1 integriert. Im Gegensatz zu der Ausführungsform gemäß Fig. 1 und 2 hat dies den Vorteil, daß die scheraktive Schicht zwar ebenso wie bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 oder 2 partiell verteilt über die Vorderkante 1 vorgesehen ist. Durch das Integrieren in der Struktur 11 des Profiles ist jedoch sichergestellt, daß ein Entfernen der scheraktiven Schicht von der Vorderkante 1 nicht ohne vollständiges Zerstören der Vorderkante möglich ist. Die scheraktive Schicht 10 liegt also geschützt innerhalb der Struktur der Vorderkante 1. Darüber hinaus erweist es sich auch als vorteilhaft, daß die Ansteuerung direkt aus der Struktur heraus geschieht und nicht von der Außen- und/oder Innenseite des Profiles her vorgenommen wird.

In Fig. 4 ist eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Profilkante als elastische Hinterkante 20 dargestellt. Anstelle der Ansteuerung der Vorderkante gemäß der Fig. 1 bis 3 zum Schaffen einer gezielten, zyklisch mit der Rotordrehung ablaufenden Zu- oder Aufwölbung des Profiles zur Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaf-

ten beispielsweise eines Rotorblattes, um vor allem die Auswirkungen der instationären Ablösung der Strömung (Dynamic Stall) dadurch positiv beeinflussen zu können, geschieht durch Vorsehen der elastischen Hinterkante 20 eine entsprechende strukturdynamische Umsetzung bei lediglich anderen Strömungsverhältnissen. Es wird eine variable Wölbung erzeugt, die Abflußbedingungen werden verändert.

Anstelle der parabelförmig zulaufenden Vorderkante 1 gemäß der Fig. 1 bis 3 ist in Fig. 4 eine spitz zulaufende Struktur 21 vorgesehen. Auf der Innenseite 22 und der Außenseite 23 dieser spitz zulaufenden Struktur 21 sind verteilt Schichten 25 aus multifunktionalem Material aufgefügt.

Die in ihrem hinteren Punkt fest gelagerte spitz zulaufende Struktur 21 der elastischen Hinterkante 20 ist in ihrem vorderen spitzen Bereich beweglich. Die möglichen Bewegungsrichtungen sind durch den Doppelpfeil in Fig. 4 ange deutet. Die Ansteuerung geschieht entsprechend der zu den vorigen Figuren beschriebenen Ansteuerung der Vorderkante 1. Es kann ebenfalls eine gleich- oder gegenphasige Ansteuerung der Aktuatoren in Form der Schichten 25 aus multifunktionalem Material geschehen.

Alternativ zu der dargestellten Ausführungsform kann auch eine in ihrem hinteren Punkt geöffnete, geschlitzte elastische Hinterkante vorgesehen sein.

Durch Ansteuern der Aktuatoren und daraus folgende Verformung kann eine variable Wölbung von Profilen erzeugt werden.

Die Verwendungsmöglichkeiten der beschriebenen adaptiven Vorder- und Hinterkanten sind zahlreich. Beispielsweise können derartige adaptiv geregelte, also sich durch entsprechendes Einstellen eines Anstellwinkels anpassende Profilkanten in Hubschrauber-Rotorblättern verwendet werden. Sie eignen sich aber auch besonders für Windenergieanlagen, Turbinen- oder Verdichterschaufeln oder zur Verwendung an Tragflächen von Flugzeugen, insbesondere von Kampfflugzeugen. Verwendungsbereiche ergeben sich überall, wo die Auswirkungen von instationärer Ablösung der Strömung durch eine gezielte, zyklisch mit der Rotordrehung ablaufende Zu- oder Aufwölbung des Profiles zur Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften des Rotorblattes positiv beeinflußt werden soll.

#### Bezugszeichnungsliste

1 Vorderkante	45
2 Innenseite	
3 Außenseite	
4 Bereich mit multifunktionalem Material	
5 Schicht aus multifunktionalem Material/Beschichtung	
6 Bereich	50
7 Auflagerstelle/statisch festgelegte Stelle	
8 Unterseite	
9 Oberseite	
10 scheraktive Schicht	
11 Struktur	55
20 elastische Hinterkante	
21 spitz zulaufende Struktur/Vorderkante	
22 Innenseite	
23 Außenseite	
25 Schicht aus multifunktionalem Material	60
27 Auflagerstelle/statisch festgelegte Stelle	
A Auslenkposition	
B Auslenkposition	

#### Patentansprüche

1. Profilkante eines aerodynamischen Profils, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) auf

ihrer Außen- (3, 23) und/oder Innenseite (2, 22) oder in ihrer Struktur (11) multifunktionales Material aufweist.

2. Profilkante nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Beschichtung (5, 25) aus multifunktionalem Material partiell verteilt an der Profilkante (1, 20) vorgesehen ist.

3. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche; dadurch gekennzeichnet, daß das multifunktionale Material eine scheraktive Schicht (10) ist, die in die Struktur (11) des aerodynamischen Profiles integriert ist.

4. Profilkante nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Schichten (5, 25, 10) aus multifunktionalem Material als aktive Schichten Biegemomente und/oder Längs- oder Schubkräfte in die die Profilkante (1, 20) bildende Struktur (11) einleitbar sind, die eine Verformung der Struktur erzeugen.

5. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (5, 25, 10) aus multifunktionalem Material gezielt, über den Umfang des aerodynamischen Profils veränderlich ansteuerbar sind.

6. Profilkante nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (5, 25, 10) aus multifunktionalem Material gleich- oder gegenphasig ansteuerbar sind.

7. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) mit einer über den Umfang veränderlichen Wandstärke ausgebildet ist.

8. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Sensoren aus multifunktionalem Material und adaptive Regler vorgesehen sind.

9. Profilkante nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die als Aktuator vorgesehenen Schichten (5, 25, 10) der Profilkante (1, 20) aus multifunktionalem Material als Sensoren der Profilkantenverformung dienen.

10. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das multifunktionale Material ein für hochfrequente Anwendungen geeigneter Werkstoff, insbesondere eine Piezokeramik, ein elektro- oder magnetostriktiver Werkstoff ist.

11. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) aus Faserverbundwerkstoff, insbesondere kohlenstoff- oder graphitverstärktem Verbundwerkstoff (CFK oder GFK), oder aus Metall besteht.

12. Profilkante nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (5, 25) aus multifunktionalem Material auf die Profilkante (1, 20) aufgeklebt, geklebt oder mittels Plasma-Verfahrens aufgebracht oder in die äußeren Schichten der Profilkante einlaminiert ist.

13. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche; dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante eine Vorder- (1) oder Hinterkante (20) des aerodynamischen Profiles ist.

14. Profilkante nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei Vorsehen der Profilkante als elastische Hinterkante (20) eine spitz zulaufende Vorderkante (21) vorgesehen ist, durch die insbesondere eine variable Wölbung von Profilen erzeugbar ist.

15. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) Teil eines Hubschrauber-Rotorblattes, eines Windenergieanlagenflügels, einer Turbinen- oder Verdich-

7

8

terschaufel oder einer Tragfläche eines Flugzeuges ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

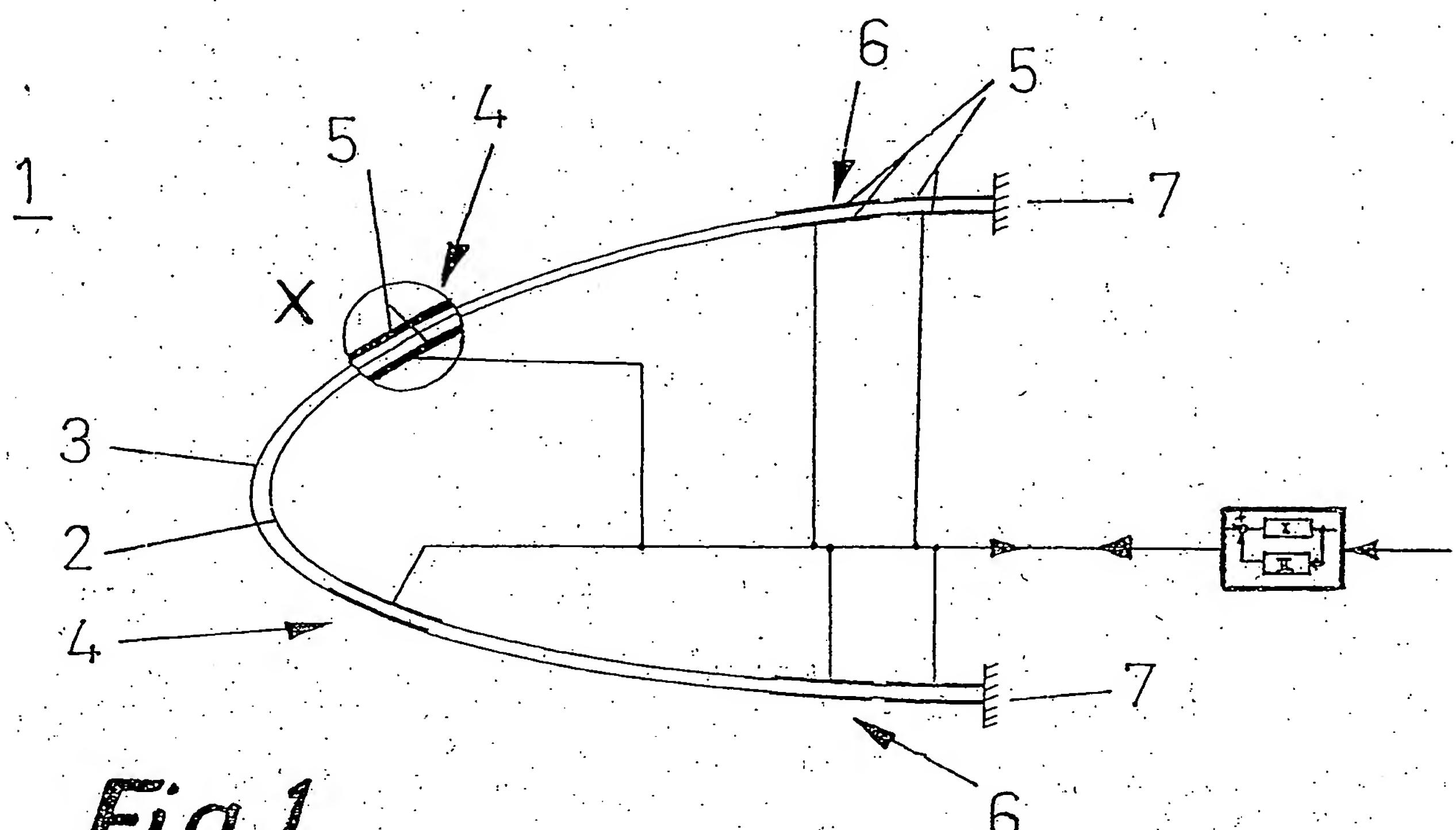


Fig. 1

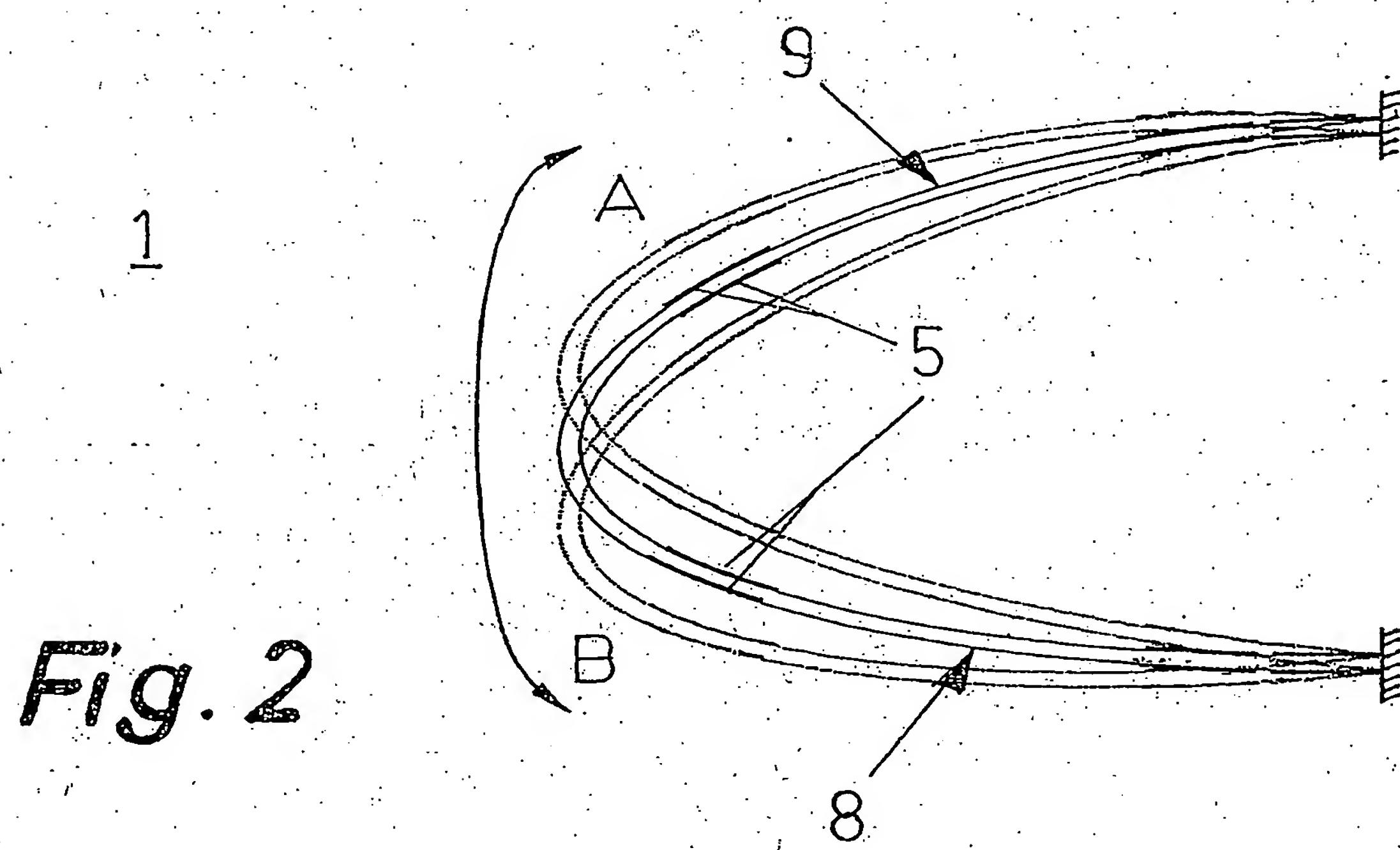


Fig. 2

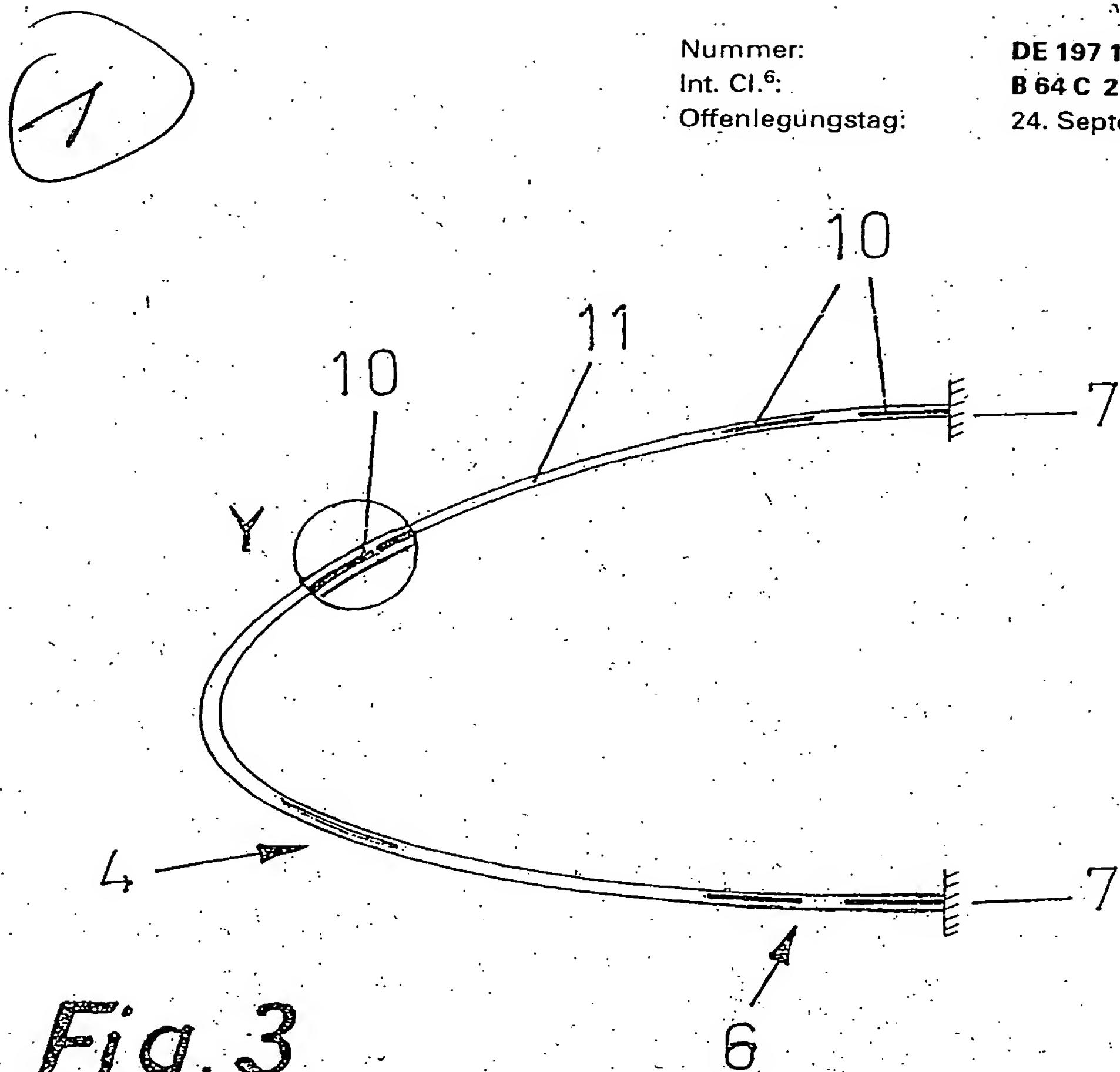


Fig. 3

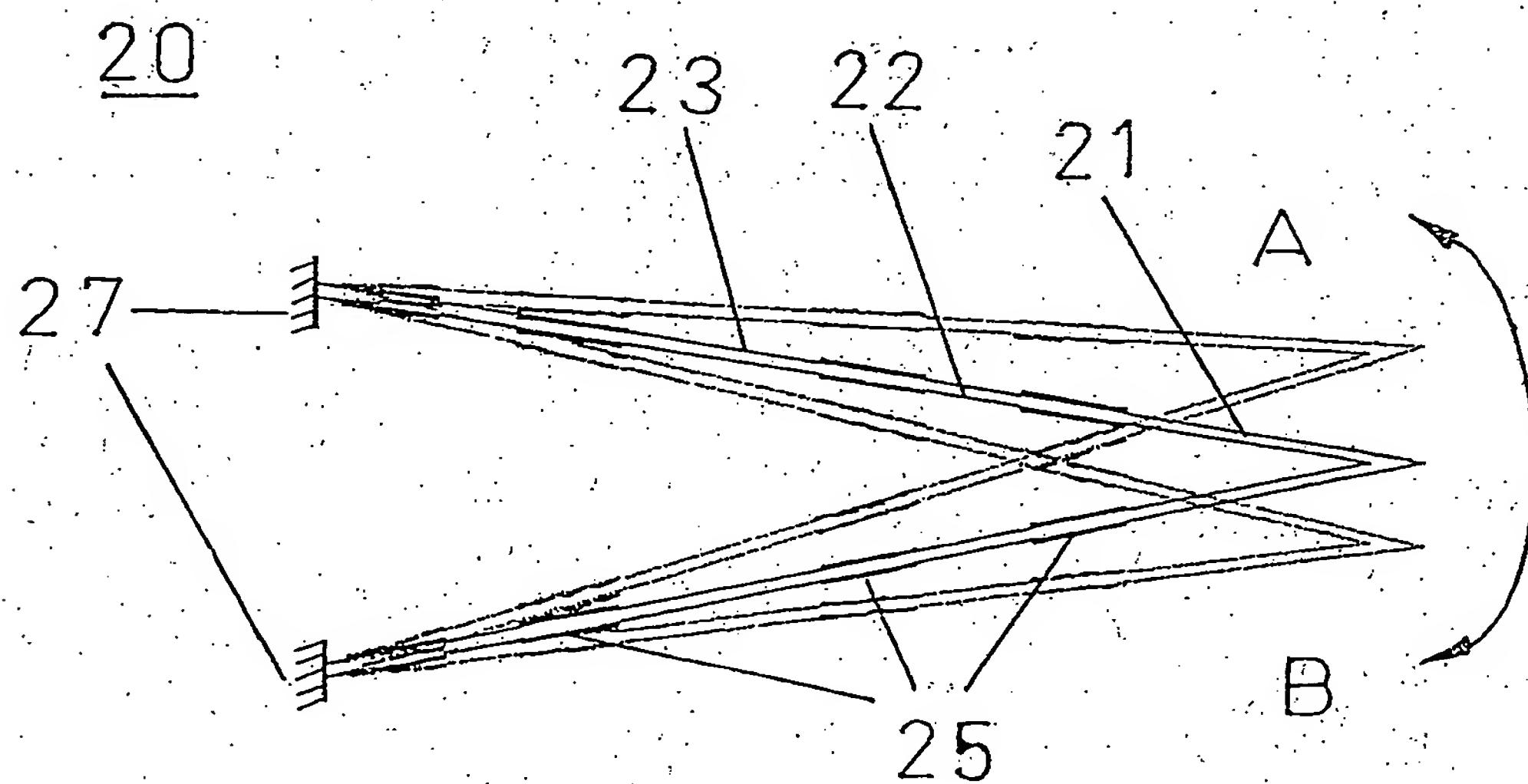


Fig. 4